



TITLE:

A structural design methodology based on multiobjective and manufacturing-oriented topology optimization(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Sato, Yuki

CITATION:

Sato, Yuki. A structural design methodology based on multiobjective and manufacturing-oriented topology optimization. 京都大学, 2019, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21752>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	佐 藤 勇 気
論文題目	A structural design methodology based on multiobjective and manufacturing-oriented topology optimization（多目的及び製造指向トポロジー最適化に基づく構造設計法）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、機械製品開発の下流工程における制約条件を考慮可能な構想設計法の構築を目的として、トポロジー最適化におけるパレート最適解の探索法とデータマイニングに基づくパレート最適解の分析法、並びに製造要件に起因する幾何学的制約及び製造誤差に起因する形状不確定性を考慮したトポロジー最適化法に関する研究について論じた結果をまとめたものであって、6章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、トポロジー最適化関連分野における研究の発展と課題について概観し、本論文の目的及び構成について述べている。また、トポロジー最適化の基本的な考え方、一般的な定式化、そして最適化手法についても概説している。</p> <p>第2章は、最適化の過程で適切な重み係数を決定する方法を用いた新たな多目的トポロジー最適化手法の構築について論じている。多目的最適化では、複数の目的関数を同時に考慮し、その最適解は目的関数間のトレードオフに応じたパレート最適解集合として得られる。多目的最適化の適用により、設計者が後からパレート最適解を基に意思決定を行える利点があり、詳細設計段階における試行錯誤の低減が期待できる。本章では、適切な重み係数と勾配情報を用いることで、従来法では困難であった、トポロジー最適化問題を対象とした多目的最適化法を提案している。すなわち、最適化の各反復においてパレート最適解が疎な領域を探索するように重み係数を自動的に決定することで、効率的にパレート最適解集合が得られるアルゴリズムを提案している。そして、そのアルゴリズムに基づき、複数荷重に対する剛性最大化のためのトポロジー最適化法、テスラバルブの最適設計法、水冷ヒートシンクの最適設計法を構築し、数値例によりその妥当性と有効性を検証している。</p> <p>第3章は、第2章で得られたパレート最適解から有用な情報を抽出するためのデータマイニング手法について論じている。一度パレート最適解集合が得られた後は、その中からどのように適切な解を選択するかが課題となるが、データマイニングに基づく最適設計解の力学的解釈により、設計者の意思決定を支援できる。本章では、従来十分検討されていなかったトポロジー最適化結果のためのデータマイニング手法を提案している。すなわち、クラスタリングとアソシエーション分析に基づき、最適構造から複数の目的関数それぞれに対して寄与の大きな部分構造を抽出するための方法を構築している。そして、複数荷重に対する剛性最大化問題に適用することで、提案手法の妥当性を検証している。</p> <p>第4章は、鋳造品とフライス加工品を対象として、製造要件に起因する幾何学的な制約を考慮したトポロジー最適化手法を提案している。トポロジー最適化では、抜本的な形状変化を許容する性質上、最適構造として製造困難、あるいは不可能な設計解が得られる場合が多い。しかしながら最適構造を試行錯誤的に修正すると、最適設計解の性能が大きく低下する可能性がある。この問題の解決策として、本章では、最適化の段階から製造性に起因する幾何学的な制約を与える方法を提案している。具体的には、幾何学的な制約を表現するため熱伝導現象を模した仮想的な物理現象を考え、その現象に対応する物理モデルである移流拡散方程式を用いて幾何学的制約を与えて</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	佐 藤 勇 気
<p>いる。そして、数値例により製造要件を満たした最適構造が得られることを示している。さらに、仮想的なモデルを介して陰的に制約を与えることにより設計空間が制限されないため、最適構造の初期構造依存性が低く、初期構造の設定に関する試行錯誤が低減できることを示している。</p> <p>第5章では、製造誤差に起因する形状不確定性を考慮したトポロジー最適化手法を提案している。構造最適化では、得られる設計解は想定した条件の下で、最適な形状となっているが故に、得られた設計解通りに正確に製造できなければ、著しく性能が低下してしまう恐れがある。しかしながら、製造誤差に起因する形状の変動は不確定性をもっているため、設計者がその影響を予め考慮するのは難しい問題がある。この問題を解決する方法として、本章では、最適化の段階から形状不確定性に対する信頼性を考慮する方法を提案している。具体的には、オイラー座標に基づく記述により導出された移流方程式を用いて形状の変動を表現し、その移流速度を確率変数とすることで、形状変動の不確定性をモデル化している。そして、そのモデル化と信頼性設計の考え方に基づき最適化問題を定式化し、信頼性解析を組み込んだ最適化アルゴリズムを構築している。さらに数値例により、形状不確定性が大きいほど、そして形状変動の自己相関が空間的に小さい、すなわち境界上の任意の点同士の変動の相関が小さいほど信頼性を考慮する効果が大きいことを示し、提案手法の妥当性と有効性を検証している。</p> <p>第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、機械製品開発の下流工程における制約条件を考慮可能な構想設計法の構築を目的として、トポロジー最適化におけるパレート最適解の探索法とデータマイニングに基づくパレート最適解の分析法、並びに製造要件に起因する幾何学的制約及び製造誤差に起因する形状不確定性を考慮したトポロジー最適化法の構築に関して研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 目的関数の勾配情報を用いた多目的トポロジー最適化法を提案した。重み付き総和法における重み係数をパレート最適解の分布に基づき自動的に決定することで、多様性をもったパレート最適解集合が得られるアルゴリズムを構築した。数値例として、複数荷重に対する剛性最大化を行い、それぞれの荷重に対する剛性のトレードオフ関係を反映したパレート最適解が得られることを示した。さらに、テスラバルブ、水冷ヒートシンクの最適設計法へと展開し、提案手法の有効性を示した。
2. パレート最適解のトレードオフ分析を目的として、最適設計解に対するデータマイニングの方法をクラスタリングとアソシエーション分析に基づき構築した。数値例として、提案手法を複数荷重に対する剛性最大化問題に適用し、それぞれの荷重に対する剛性に大きく寄与する部分構造を抽出可能であることを示した。
3. 構想設計段階における製造要件の考慮を目的として、鋳造品とフライス加工品を対象とした幾何学的制約付きトポロジー最適化法を提案した。まず、幾何学的制約を表現するための仮想的な物理現象を考え、その現象に対応する物理モデルを用いて幾何学的制約を定式化した。そして、その物理モデルの解析を組み込んだ最適化アルゴリズムを構築した。数値例により、製造要件を満たした最適構造が得られることを示した。さらに、最適化の過程で設計空間が制限されないことで、初期構造依存性が低くなることを示した。
4. 構想設計段階における形状不確定性に対する信頼性の考慮を目的として、形状不確定性に対する信頼性設計法を構築した。まず、移流方程式を用いて形状変動を表現し、その移流速度を確率変数とすることで、形状変動の不確定性をモデル化した。そして、そのモデル化と信頼性設計の考え方にに基づき最適化問題を定式化し、信頼性解析を組み込んだ最適化アルゴリズムを構築した。さらに、数値例により、不確定性の大きさと空間的自己相関の強さに対する最適構造の依存性を検証し、提案手法の妥当性と有効性を示した。

以上のように本論文は、機械製品開発における種々の要件を考慮可能なトポロジー最適化法を構築し、数値例によりその有効性を示しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成31年1月16日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。